

Lecciones Aprendidas



De los participantes de Natural Gas STAR

CONVIERTA LOS CONTROLES NEUMÁTICOS DE GAS A AIRE COMPRIMIDO PARA INSTRUMENTACIÓN (CONVERT GAS PNEUMATIC CONTROLS TO INSTRUMENT AIR)

Resumen gerencial

Los sistemas de instrumentación neumáticos accionados con gas natural a alta presión se utilizan frecuentemente en una variedad de industrias de gas natural y petróleo para el control de procesos. Las aplicaciones típicas en control de procesos incluyen regulación de presión, temperatura, nivel de líquido y régimen de flujo. La pérdida constante de gas natural de estos controladores es en conjunto una de las fuentes más importantes de emisiones de metano en la industria de gas natural, estimada en aproximadamente 24 mil millones de pies cúbicos por año en el sector de productivo, 16 mil millones de pies cúbicos en procesamiento y 14 mil millones de pies cúbicos en el sector de transmisión.

Las compañías pueden lograr una significativa reducción de costos y emisiones de metano mediante la conversión de sistemas de control neumático accionados por gas natural a sistemas de aire comprimido para instrumentación. Los sistemas de aire comprimido para instrumentación reemplazan el gas natural presurizado con el aire comprimido, eliminando las emisiones de metano y proporcionando beneficios de seguridad adicionales. Sin embargo, las aplicaciones que permiten una reducción de costos están limitadas a aquellas instalaciones que disponen de energía eléctrica, ya sea suministrada por una empresa de servicio público o auto-generada.

Los participantes de Natural Gas STAR informan que se han logrado ahorros de hasta 70 millones de pies cúbicos por año por instalación mediante el reemplazo de los sistemas neumáticos accionados por gas natural con sistemas de aire comprimido para instrumentación, lo cual representa un ahorro anual de hasta \$210,000 por instalación. Los participantes han determinado que la mayoría de las inversiones necesarias para convertir los sistemas neumáticos se pagan por sí mismas en poco más de un año. Los ahorros individuales varían dependiendo del diseño, estado y condiciones operativas específicas de los controladores.

Método para reducir pérdida de gas ¹	Volumen promedio de gas ahorrado (millones de pies cúbicos/año)	Valor promedio de gas ahorrado (\$/año) ¹	Costo promedio de implementación (\$/año) ²	Rendimiento promedio (años)
Reemplazar gas con aire en sistemas neumáticos (por instalación)	20,000	60,000	50,000	< 1

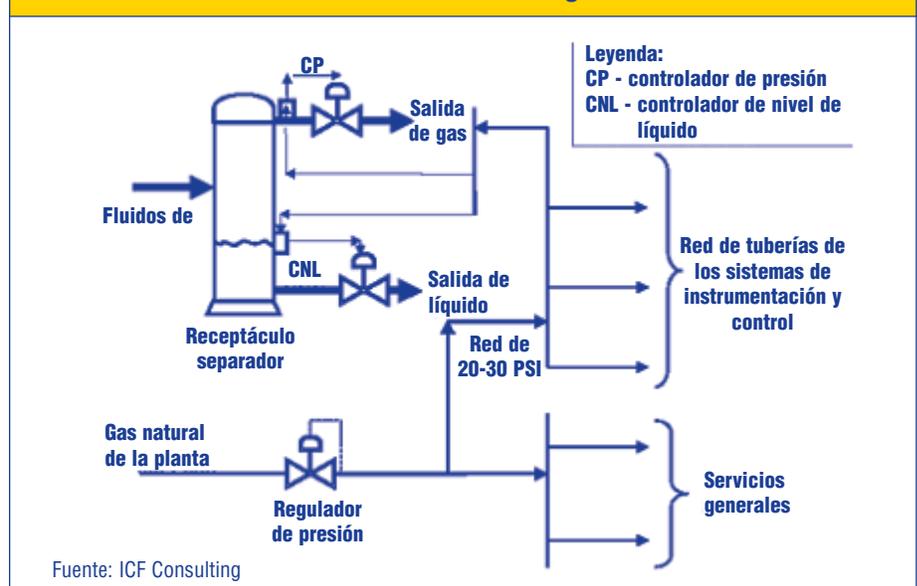
¹Suponiendo que el valor del gas es \$3.00/millón de pies cúbicos.
²Costo de instalar compresor, secador y otros accesorios, y requisitos anuales de energía eléctrica.

Antecedentes tecnológicos

La industria de gas natural utiliza una variedad de dispositivos de control de procesos para operar válvulas que regulan niveles de presión, flujo, temperatura y líquidos. La mayoría de los instrumentos y equipos de control se ubican en una de tres categorías: (1) neumático; (2) eléctrico; o (3) mecánico. En la gran mayoría de aplicaciones, la industria de gas natural utiliza dispositivos neumáticos, los cuales utilizan gas natural a alta presión para proporcionar la energía y señales de control requeridas. Los sistemas de instrumentación neumáticos accionados por gas natural a alta presión se utilizan ampliamente en la industria de gas natural. En el sector producción, un estimado de 250,000 dispositivos neumáticos controlan y monitorean los flujos de gas y líquidos y los niveles en los deshidratadores y separadores, la temperatura en los regeneradores de deshidratadores, y la presión en los tanques de purga. La mayoría de las plantas procesadoras ya están utilizando aire comprimido, pero algunas utilizan sistemas neumáticos de gas. Incluyendo las estaciones de colectoras/impulsadoras que alimentan estas plantas procesadoras, existen alrededor de 13,000 dispositivos neumáticos de gas en este sector. En el sector de transmisión, un estimado de entre 90,000 y 130,000 dispositivos neumáticos accionan válvulas de aislamiento y regulan el flujo de gas y la presión en las estaciones compresoras, gasoductos e instalaciones de almacenamiento. Los dispositivos neumáticos también se encuentran en los medidores de las estaciones de compuerta de las compañías de distribución y las redes de distribución en donde regulan el flujo y la presión.

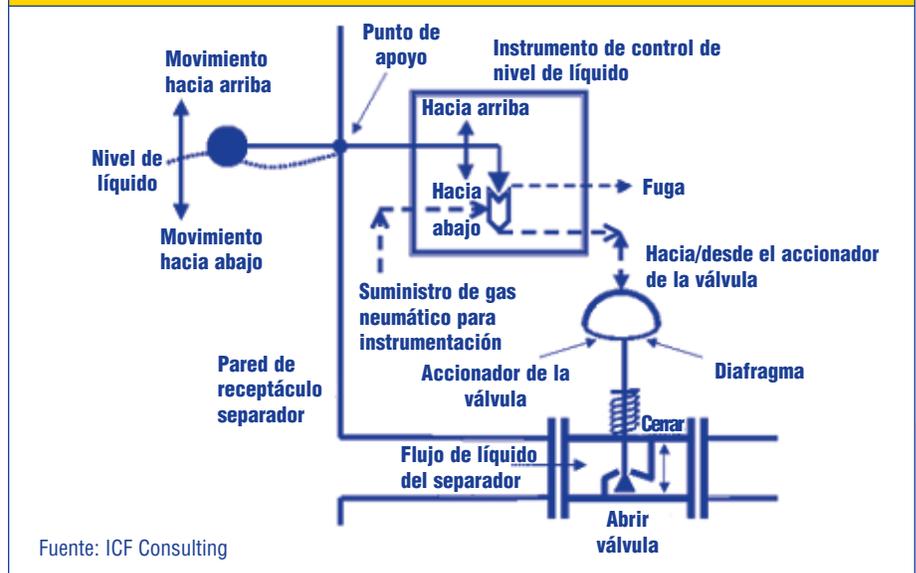
El Cuadro 1 muestra un sistema de control neumático accionado por gas natural. El sistema de control neumático consta de los instrumentos y las válvulas de control de procesos operados por gas natural regulado a aproximadamente 20-30 libras por pulgada cuadrada (psi), y una red de tuberías de distribución para suministrar a todos los instrumentos de control. El gas natural también se utiliza en algunos "servicios generales", tales como pequeñas bombas neumáticas, arrancadores de motor de compresor y válvulas de cierre de aislamiento. El Cuadro 2 muestra un diagrama simplificado de un ciclo de control neumático. Una condición de proceso, tal como el nivel de líquido en un receptáculo separador, es monitoreada por un flotador que está mecánicamente vinculado al controlador de nivel de líquido ubicado fuera del

Cuadro 1: Sistema de control neumático de gas natural



receptáculo. Un aumento o reducción en el nivel de líquido mueve el flotador hacia arriba o hacia abajo, lo cual se transmite a unas pequeñas válvulas de aguja dentro del controlador. El gas neumático se dirige al accionador de la válvula cuando la válvula de aguja hace un orificio, o la presión de gas se expela fuera del accionador de la válvula. El aumento de presión de gas en el accionador de la válvula empuja hacia abajo un diafragma conectado mediante una varilla al tapón de la válvula, haciendo que se abra el tapón y aumente el flujo de líquido que se drena fuera del receptáculo separador. La presión de gas liberada del accionador de la válvula hace que un resorte empuje y cierre el tapón de la válvula.

Cuadro 2: Esquema de señales y accionamiento



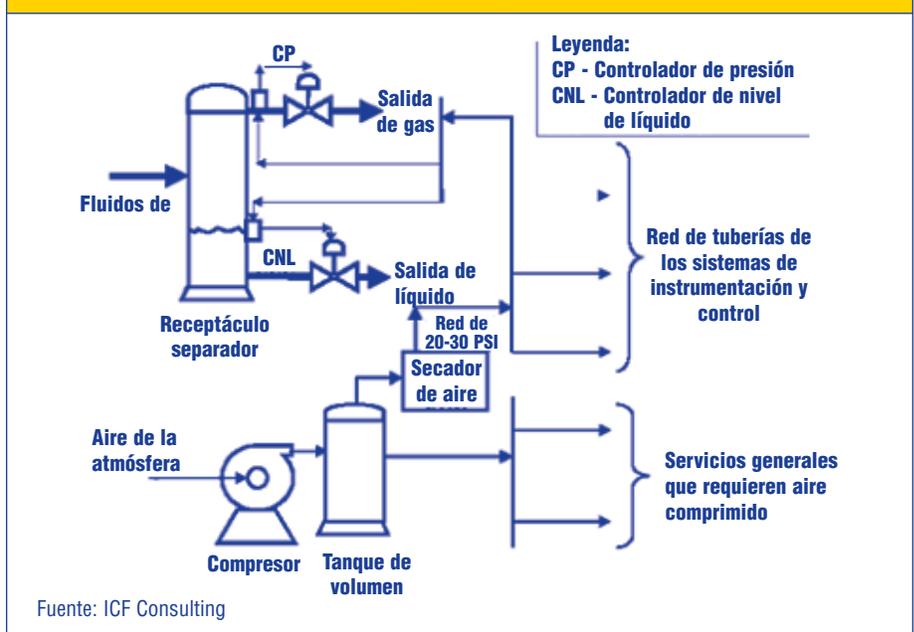
Como parte de la operación normal, los dispositivos neumáticos accionados por gas natural liberan o expelen gas a la atmósfera y, consecuentemente, son una fuente importante de emisiones de metano de la industria de gas natural. Los sistemas de control neumático emiten metano a través de las juntas de tubería, controles y una serie de puntos dentro de la red de tuberías de distribución. La tasa de liberación actual o niveles de emisiones depende en gran parte del diseño del dispositivo. En general, los controladores de diseño similar tienen tasas similares de liberación sostenida, independientemente de la marca. La tasa de emisión de metano también variará con la presión de suministro del gas neumático, la frecuencia del accionador, y la antigüedad o condición del equipo.

Muchos participantes han descubierto que resulta económico reemplazar el gas natural con aire comprimido en los sistemas neumáticos. La utilización de aire comprimido para instrumentación elimina las emisiones de metano y conlleva un aumento en las ventas de gas. Además, con la eliminación de un gas inflamable, aumenta significativamente la seguridad de operación. Los costos primarios asociados con la conversión a sistemas de aire comprimido son los gastos de capital inicial para la instalación de compresores y equipo relacionado y los costos de operación de energía eléctrica para el motor del compresor. Los instrumentos de control de las tuberías de suministro de gas neumático existentes y los accionadores de válvulas

del sistema neumático de gas pueden volverse a utilizar en un sistema de aire comprimido para instrumentación.

El Cuadro 3 muestra un sistema de aire comprimido para instrumentación. En estos sistemas, el aire atmosférico es comprimido, almacenado en un tanque de volumen, filtrado y secado para utilizarlo en instrumentos. El aire utilizado para servicios generales (tales como pequeñas bombas neumáticas, arrancadores de motor de compresoras de gas, herramientas neumáticas, sopletes de arena a presión) no necesita ser secado. Todas las otras partes de un sistema neumático de gas funcionarán de la misma manera con aire que con gas.

Cuadro 3: Sistema de aire comprimido para instrumentación



Los componentes más importantes de un proyecto de conversión a aire comprimido incluyen el compresor, la fuente de energía, el deshidratador y el tanque de volumen. A continuación se describen cada uno de estos componentes conjuntamente con consideraciones importantes de instalación.

- ★ **Compresor.** Los compresores utilizados para suministrar aire comprimido para instrumentación están disponibles en varios tipos y tamaños, desde compresores de tornillo rotatorio (centrífugas) hasta tipos de desplazamiento positivo (pistón alternativo). El tamaño del compresor depende del tamaño de la instalación, el número de dispositivos de control operados por el sistema y las tasas de fuga típicas de estos dispositivos. El compresor generalmente es accionado por un motor eléctrico que se enciende y apaga, dependiendo de la presión del tanque de volumen. Para mayor confiabilidad, normalmente se instala un compresor de repuesto completo.
- ★ **Fuente de energía.** Un componente crítico del sistema de control de aire comprimido es la fuente de energía requerida para hacer funcionar el compresor. Debido a que el gas natural de alta presión es abundante y fácilmente disponible, los sistemas neumáticos de gas pueden funcionar ininterrumpidamente 24 horas, 7 días a la semana. Sin embargo, la confiabilidad de un sistema de aire comprimido para instrumentación depende de la confiabilidad

Beneficios económicos y para el medio ambiente

del compresor y de la fuente de energía eléctrica. La mayoría de las plantas grandes de gas natural tienen una fuente de energía eléctrica o su propio sistema de generación de energía. Sin embargo, para plantas más pequeñas e instalaciones en lugares remotos, puede ser difícil garantizar una fuente confiable de energía eléctrica. En algunos casos, los compresores de aire accionados con baterías de energía solar pueden ser económicos para instalaciones en lugares remotos. Esto reduce tanto las emisiones de metano como el consumo de energía. También se están desarrollando pequeñas unidades de combustible accionadas con gas natural.

- ★ **Deshidratadores.** Los deshidratadores o secadores de aire, son una parte integral del sistema de aire comprimido para instrumentación. El vapor de agua presente en el aire se condensa cuando este es presurizado y enfriado, y puede causar una serie de problemas a estos sistemas, incluyendo corrosión de las piezas del instrumento y bloqueo de la tubería de aire del instrumento y de los orificios del controlador. Para sistemas más pequeños, los secadores de membrana son una alternativa económica. Estos son filtros moleculares que permiten que moléculas de oxígeno y nitrógeno pasen a través de la membrana, mientras se retienen las moléculas de agua. Son bastante confiables, sin piezas móviles, y el filtro puede cambiarse fácilmente. Para plantas más grandes, los secadores por absorción (de alúmina) son más económicos.
- ★ **Tanque de volumen.** El tanque de volumen almacena aire suficiente para permitir que el sistema de control neumático tenga una fuente ininterrumpida de aire de alta presión sin que sea necesario que el compresor de aire funcione continuamente. El tanque de volumen permite una extracción grande de aire comprimido en un corto tiempo, como para un arrancador de motor, una bomba neumática, o herramientas neumáticas, sin afectar las funciones de control del proceso.

La reducción de emisiones de metano de los dispositivos neumáticos mediante la conversión a sistemas de control e instrumentación con aire comprimido, puede producir para las compañías de gas natural importantes beneficios económicos además de los beneficios para el medio ambiente, entre ellos:

- ★ **Rendimiento financiero como resultado de la reducción de emisiones de gas.** Suponiendo que el precio del gas natural es \$3.00 por millón de pies cúbicos, los ahorros resultantes de menores emisiones se calculan en \$360 por año por dispositivo o \$210,000 o más por año por instalación. En muchos casos, el costo de convertir a aire comprimido para instrumentación puede recuperarse en menos de un año.
- ★ **Vida más larga de los dispositivos de control y mayor eficiencia de operación.** El gas natural utilizado en dispositivos e instrumentos de control neumáticos usualmente contiene gases corrosivos (tales como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) que pueden reducir la vida operativa eficaz de estos dispositivos. Además, el gas natural usualmente produce subproductos de oxidación de hierro, que pueden obstruir los orificios pequeños del equipo resultando en una reducción de eficiencia de operación o peligros. Al utilizar aire comprimido para instrumentación, adecuadamente filtrado y seco, se reduce la degradación del sistema y aumenta la vida útil de operación.
- ★ **Se evita el uso de gas natural inflamable.** El utilizar aire comprimido como alternativa al gas natural elimina la utilización de una sustancia inflamable, aumentando significativamente la seguridad de las plantas procesadoras y los

Proceso de Decisión

sistemas de transmisión y distribución de gas natural. Esto puede ser particularmente importante en instalaciones de alta mar, en donde los riesgos asociados con materiales peligrosos e inflamables son mayores.

- ★ **Menores emisiones de metano.** Se han reportado menores emisiones de metano de hasta 70 millones de pies cúbicos por instalación anualmente, dependiendo del (de los) dispositivo(s) y del tipo de aplicación de control.

La conversión de sistemas neumáticos de gas natural a sistemas de aire comprimido para instrumentación se puede llevar a cabo en todas las instalaciones y plantas de gas natural. Sin embargo, determinar las aplicaciones más eficientes en términos de costos requiere la realización de un estudio de factibilidad técnica y económica. Los seis pasos que se indican a continuación, y el ejemplo práctico con tablas de costos, ecuaciones y factores pueden ayudar a las compañías a evaluar sus oportunidades

Proceso de decisión para convertir dispositivos neumáticos de gas a aire comprimido para instrumentación:

1. Identificar los lugares posibles para la instalación de sistemas.
2. Determinar la capacidad óptima del sistema.
3. Calcular los costos del proyecto.
4. Calcular los ahorros de gas.
5. Evaluar los aspectos económicos.
6. Desarrollar un plan de implementación.

Paso 1: Identificar los lugares posibles para la instalación de sistemas. La mayoría de sistemas de control neumático que funcionan con gas natural pueden reemplazarse con aire comprimido para instrumentación. Los sistemas de aire comprimido para instrumentación requerirán nuevas inversiones para el compresor, deshidratador y otros equipos relacionados, así como para el suministro de energía eléctrica. Por lo tanto, un primer paso en un proyecto exitoso de conversión a aire comprimido para instrumentación es revisar las plantas existentes para identificar los lugares más idóneos para proyectos económicos. En general, se deben considerar tres factores principales durante este proceso.

- ★ **El diseño de la planta.** El diseño de una planta de gas natural puede afectar significativamente el costo del equipo e instalación de un sistema de aire comprimido para instrumentación. Por ejemplo, la conversión a aire comprimido para instrumentación puede no ser económica en plantas descentralizadas en donde las baterías del tanque están alejadas o muy dispersas. El aire comprimido para instrumentación es lo más adecuado cuando se utiliza en plataformas de altamar y plantas costa adentro en donde los dispositivos neumáticos están consolidados en un área relativamente pequeña.
- ★ **Número de dispositivos neumáticos.** Mientras mayor sea el número de controladores neumáticos que se conviertan a aire comprimido para instrumentación, mayor será el potencial de reducción de emisiones y mayores los ahorros para la compañía. La conversión a aire comprimido para instrumentación es más rentable cuando la compañía está planeando un cambio a nivel de toda la planta.
- ★ **Fuente de energía eléctrica disponible.** Ya que la mayoría de sistemas de aire comprimido para instrumentación requieren de energía eléctrica para hacer funcionar el compresor, es esencial disponer de una fuente ininte-

rrumpida de energía eléctrica. Mientras que las plantas grandes tienen su propia fuente de energía eléctrica o su propio sistema de generación de electricidad, muchas plantas pequeñas o ubicadas en lugares remotos no la tienen. Para estas instalaciones, el costo de generación de energía generalmente hace que el uso de aire para instrumentación no sea rentable. Además, las instalaciones con generadores dedicados necesitan evaluar si los generadores tienen capacidad suficiente para hacer funcionar un sistema de aire comprimido, ya que el costo de actualizar un generador puede ser prohibitivo. Las instalaciones en lugares alejados deben examinar alternativas para la generación de energía, desde microturbinas hasta energía solar.

Paso 2: Determinar la capacidad óptima del sistema. Una vez identificados los lugares para el proyecto, es importante determinar la capacidad apropiada del nuevo sistema de aire comprimido para instrumentación. La capacidad requerida es una función directa de la cantidad de aire comprimido necesario para operar los instrumentos neumáticos y satisfacer los requisitos de aire de uso general.

- ★ **Requisitos de aire comprimido para instrumentación.** Las necesidades de aire comprimido para el sistema neumático son equivalentes al volumen de gas utilizado para hacer funcionar los instrumentos existentes, ajustado por las pérdidas de aire durante el proceso de secado. El volumen actual de gas utilizado puede determinarse mediante observación directa de un medidor (si hay un medidor instalado). En sistemas que no tienen medidor, una regla práctica conservadora para calcular los requisitos de los sistemas de aire es un pie cúbico por minuto (cfm, siglas en inglés) de aire comprimido para instrumentación por cada ciclo de control (que consta de un controlador neumático y una válvula de control).

Regla práctica:

1 pie cúbico de aire por minuto/ciclo de control

El cálculo inicial de las necesidades de aire comprimido para instrumentación debe luego ser ajustado considerando la pérdida de aire durante el proceso de secado. Típicamente, los filtros de membrana del secador de aire consumen alrededor de 17 por ciento del aire que ingresa. Por lo tanto, el volumen estimado de aire comprimido para instrumentación utilizado es 83 por ciento del total de suministro de aire comprimido: es decir, hay que dividir el aire utilizado entre 83 por ciento. Los secadores por absorción no consumen aire y por lo tanto no necesitan ajuste.

Regla práctica:

El secador de membrana consume 17 por ciento del aire que ingresa

- ★ **Requisitos de aire de uso general.** Es común utilizar aire comprimido para ciertos usos dentro de la planta, tales como arrancadores de motor, bombas neumáticas, herramientas neumáticas (tales como llave de impacto) y sopletes de arena a presión. A diferencia del aire comprimido para instrumentación, el aire para uso general no necesita ser secado. La frecuencia y volúmenes de dicho aire se añaden al total. Las compañías deberán evaluar estos otros usos de aire comprimido en base a las características específicas de la planta y considerando la posibilidad de ampliación de la planta. Una regla práctica general es suponer que la tasa máxima de aire comprimido que se necesita periódicamente para uso general en la planta es el doble de la tasa constante utilizada para aire comprimido para instrumentación.

Regla práctica:

Otros usos de aire neumático: 1/3 para aire comprimido para instrumentación; 2/3 para aire de uso general.

El Cuadro 4 muestra cómo se puede calcular el tamaño del compresor de aire comprimido para instrumentación. Utilizando la regla práctica de 1 pie cúbico de aire por minuto/ciclo de control, la utilización actual de gas se traduce en aproximadamente 35 pies cúbicos por minuto de aire seco para instrumentación. Ajustando por el consumo de aire del secador (17 por ciento del ingreso de aire), el requisito total de suministro de aire comprimido para instrumentación será de 42 pies cúbicos de aire por minuto. Añadiendo las necesidades de aire para uso general de aproximadamente 70 pies cúbicos por minuto, el proyecto requerirá un total de 112 pies cúbicos por minuto de aire comprimido.

Cuadro 4: Cálculo del tamaño del compresor para conversión de gas neumático a aire comprimido para instrumentación	
Considerando:	Una planta de producción de tamaño promedio con instrumentos neumáticos, deshidratación de glicol, compresión, 35 ciclos de control y un promedio de 10 pies cúbicos por minuto de gas en usos generales para bombas neumáticas y arranque de motor de compresor.
A	= Aire comprimido total
UAI	= Utilización de aire comprimido para instrumentación
SAI	= Suministro de aire comprimido para instrumentación
SAG	= Suministro de aire para uso general
C	= Ciclos de control
	Regla práctica: 1 pies cúbico de aire por minuto por ciclo de control para calcular los requisitos de los sistemas de aire comprimido para instrumentación Regla práctica: 17% del aire se pierde a través en los secadores de membrana. Regla práctica: 1/3 del total del aire utilizado para instrumentos, 2/3 del total del aire utilizado en otras aplicaciones generales.
	Calcular: A = Capacidad del compresor de aire requerida.
A	= SAI + SAG
UAI	= C * (1 pie cúbico por minuto/ciclo)
SAI	= UAI / (100% - % aire perdido en el secador)
SAG	= UAI * (fracción de utilización de aire para uso general) / (fracción de utilización para aire comprimido para instrumentación)
A	= (35*1) / (100% - 17%) + (35*1) * (2/3) / (1/3) = 112 pies cúbicos por minuto

Paso 3: Calcular los costos del proyecto. Los costos más importantes asociados con la instalación y operación de un sistema de aire comprimido para instrumentación son los costos de instalación de los compresores, secadores, tanques de volumen y costos de energía. Los costos actuales de instalación serán una función del tamaño, ubicación y otros factores específicos de la ubicación. Una conversión típica de un sistema de control de instrumentos neumáticos accionados con gas natural a un sistema de aire comprimido para instrumentación cuesta aproximadamente entre \$35,000 y \$60,000.

Para calcular el costo para un proyecto determinado, todos los gastos asociados con el compresor, secador, tanque de volumen y fuente de energía deben tenerse en cuenta. La mayoría de proveedores están dispuestos a proporcionar estimados de los costos del equipo y requisitos de instalación (incluyendo tamaño del compresor, caballos de fuerza del motor, requisitos de energía eléctrica y capacidad de almacenamiento). Alternativamente, los operadores pueden utilizar la siguiente información acerca de los componentes más importantes de un sistema para calcular el costo total de instalación de un sistema de aire comprimido para instrumentación.

- ★ **Costos del compresor.** Es común instalar dos compresores en una planta (uno en funcionamiento y otro de respaldo) para asegurar la confiabilidad y permitir un mantenimiento y reparaciones sin interrupciones del servicio. La capacidad de uno de los compresores debe ser suficiente para satisfacer el total de volumen de aire comprimido necesario para el proyecto (es decir, tanto aire para instrumentación como para usos generales). El Cuadro 5 presenta los cálculos de costo de compra y mantenimiento de compresores pequeño, mediano y grande. Para compresores de tipo tornillo sin fin, los operadores deben esperar reparar la unidad cada 5 a 6 años. Esto generalmente implica cambiar el núcleo del compresor por un compresor reconstruido a un costo de aproximadamente \$3,000, añadiendo \$500 para costos de mano de obra y un crédito por cambio de núcleo de \$500.

Cuadro 5: Costos del compresor de aire						
Tamaño de la unidad de	Volumen de aire (pies cúbicos)	Tipo de compresor	Caballos de fuerza	Costos del equipo (\$)	Servicio anual (\$/año)	Vida de servicio (años)
Pequeña	30	Alternativo	10	2,500 ¹	300	1
Mediana	125	Tornillo sin fin	30	12,500	600	5-6 ²
Grande	350	Tornillo sin fin	75	22,000	600	5-6 ²

¹ El costo incluye un paquete de compresor con tanque de volumen.
² Costos de reconstrucción del compresor de \$3,000 más \$500 por mano de obra menos \$500 de crédito por intercambio de núcleo.

- ★ **Tanque de volumen.** Los sistemas de suministro de aire comprimido incluyen un tanque de volumen, el cual mantiene una presión constante con la activación y desactivación del compresor de aire. La regla práctica para determinar el tamaño del tanque de volumen es 1 galón de capacidad por cada pie cúbico por minuto de aire comprimido. El Cuadro 6 presenta los costos de equipo para tanques de volumen de tamaño pequeño, mediano y grande. Los tanques de volumen no tienen casi ningún costo de operación ni de mantenimiento.

Regla práctica:

1 galón de capacidad del tanque/
1 pie cúbico por minuto de aire

Cuadro 6: Costos del tanque de volumen		
Tamaño de la unidad de servicio	Volumen de aire (galones)	Costo del equipo (\$)
Pequeño ¹	80	500
Mediano	400	1,500
Grande	1,000	3,000

¹ Generalmente se suministran compresores de aire pequeños alternativos de 10 caballos de fuerza o menos con un tanque de compensación.

- ★ **Costos del secador de aire.** Debido a que el aire comprimido para instrumentación debe estar bastante seco para evitar obstrucción y corrosión, el aire comprimido generalmente se pasa por un secador. El secador más común utilizado en aplicaciones pequeñas a medianas es un secador de membrana permeable. Los sistemas de aire

más grandes pueden utilizar secadores de múltiples membranas o, aún más eficientes económicamente, secadores por absorción a base de alúmina. Los secadores de membrana filtran vapor de aceite y partículas sólidas y no tienen partes móviles. Como resultado, los costos de operación anuales se mantienen bajos. El Cuadro 7 presenta datos de costos de equipo y servicio para secadores de tamaños diferentes. El tamaño del secador tendrá que considerar el volumen de gas necesario para el sistema de aire comprimido para instrumentación.

Cuadro 7: Costos del secador de aire

Tamaño de la unidad de servicio	Volumen de aire (pies cúbicos)	Tipo de secador	Costo del equipo (\$)	Servicio anual (\$/año)
Pequeña	30	membrana	1,500	500
Mediana	60 ¹	membrana	4,500	2,000
Grande	350	alúmina	10,000	3,000

¹Tamaño más grande de membrana; utilizar volúmenes mayores para múltiples unidades.

Se puede calcular el costo total de instalación del proyecto con la información sobre equipos proporcionada anteriormente. El Cuadro 8 muestra esto utilizando el ejemplo anterior de una planta de producción mediana con un requisito de aire comprimido para instrumentación de 42 pies cúbicos por minuto y un requisito máximo de aire para uso general de 70 pies cúbicos por minuto (lo cual da un total de 112 pies cúbicos por minuto de aire comprimido). Para calcular el costo de instalación del equipo, es una práctica común en la industria suponer que la mano de obra para la instalación es equivalente al costo de adquisición del equipo (es decir, hay que duplicar el costo de comprar del equipo para calcular el costo de instalación). Esto es apropiado para sistemas grandes de aire comprimido para instrumentación con secadores por absorción de alúmina, pero para sistemas de aire comprimido para instrumentación pequeños montados sobre patines, se utiliza un factor de 1.5 para calcular el costo total de instalación (el costo de la mano de obra de instalación es la mitad del costo del equipo).

Cuadro 8: Cálculo de los costos totales de instalación

Suponiendo:	
Compresores (2)	= \$25,000 (cuadro 5)
Tanques de volumen (2)	= \$1,000 (cuadro 6)
Secador de membrana	= \$4,500 (cuadro 7)
Factor de costo de instalación	= 1.5
Calcular costo total de instalación:	
Costo del equipo	= Costo de compresor + Costo de tanque + Costo de secador = \$25,000 + \$1,000 + \$4,500 = \$30,500
Costo total	= Costo de equipo * Factor de costo de instalación = \$30,500 * 1.5 = \$45,750

Además de los costos asociados a la planta, también es necesario calcular los costos de energía asociados con la operación del sistema. El costo de operación más importante de un compresor de aire es la electricidad, a menos que la planta tenga capacidad excedente de auto-generación. Para continuar con el ejemplo anterior, suponiendo que la electricidad se compra a 7.5 centavos por kilowatt-hora (kWh) y que un compresor es de respaldo mientras que el otro compresor funciona a capacidad total la mitad del tiempo (un factor de operación de 50 por ciento), el costo de energía eléctrica sería de \$13,140 por año. Este cálculo se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Cálculo de los costos de electricidad		
Suponiendo:		
	Potencia del motor	= 30 caballos de fuerza
	Factor de operación (FO)	= 50 por ciento
	Costo de electricidad	= \$0.075/kwh
Calcular requisitos de energía		
	Energía eléctrica	= Potencia del motor * FO * Costo de electricidad = [30 caballos de fuerza * 8,760 horas/año * 0.5 * \$0.075/kwh] / 0.75 caballos de fuerza/kw = \$13,140/año

Paso 4: Calcular los ahorros de gas. Para calcular los ahorros de gas que resultan de la instalación de un sistema de aire comprimido para instrumentación, es importante determinar las tasas normales de pérdida (fugas continuas de las redes de tuberías, dispositivos de control, etc.), así como las tasas de pérdida más altas (asociadas con los movimientos en los dispositivos de control). Un método es listar todos los dispositivos de control, calcular sus tasas de pérdida normal y más alta, frecuencia de accionamiento, y cálculos de las fugas de las redes de tuberías. Los fabricantes de los dispositivos de control generalmente publican las tasas de emisión para cada tipo de dispositivo, y para cada tipo de operación. Las tasas deben aumentarse en 25 por ciento para dispositivos que han estado en servicio sin reparación por cinco a 10 años, y en alrededor de 50 por ciento para dispositivos que no han sido reparados por más de 10 años para tener en cuenta el aumento de fuga asociado con el desgaste y deterioro. Alternativamente, la instalación de un medidor puede ser un método más preciso, siempre que se haga un monitoreo durante un período de tiempo suficientemente largo para tener en cuenta todos los usos de gas en la planta (es decir, bombas, arrancadores de motor, activación de válvulas de aislamiento).

La publicación de EPA *Lessons Learned: Options for Reducing Methane Emissions from Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry* (Lecciones aprendidas: Opciones para reducir emisiones de metano de los dispositivos neumáticos en la industria de gas natural), proporciona información sobre los nombres de marca, modelos y consumo de gas para una amplia variedad de dispositivos neumáticos utilizados en la actualidad. También se proporciona información de los fabricantes y los datos de mediciones en campo, siempre que estén disponibles (ver el Apéndice de dicho informe). Para simplificar el cálculo de los ahorros de gas para los propósitos del análisis de la presente lección, podemos utilizar las reglas prácticas anteriores para calcular los ahorros de gas. Los ahorros de gas para el ejemplo de una

planta de producción mediana del Cuadro 4 incluyen el cálculo conservador de 35 pies cúbicos por minuto utilizados en los 35 controladores neumáticos más el gas utilizado ocasionalmente para arrancadores de motor de compresores y bombas neumáticas químicas y de transferencia pequeñas. (Tome nota que al reemplazar estos usos de gas se producirán ahorros directos en las emisiones de gas.) El gas natural no se usa en herramientas neumáticas ni en sopletes de arena a presión, de manera que el aire comprimido adicional proporcionado para estos servicios no reduce las emisiones metano. Suponiendo un uso promedio anual de 10 pies cúbicos por minuto de gas para servicios generales, los ahorros de gas son de 45 pies cúbicos por minuto. Como se muestra en el Cuadro 10, esto es equivalente a 23 millones 652 mil pies cúbicos por año y un ahorro anual de \$71,000.

Cuadro 10: Cálculo de ahorros de gas		
Suponiendo:		
	Utilización de gas para instrumentos neumáticos	= 35 pies cúbicos por minuto
	Otros usos que no son para instrumentos neumáticos	= 10 pies cúbicos por minuto
Calcular valor de gas ahorrado:		
	Volumen de gas natural ahorrado	= Uso en instrumentos + otros usos = 35 pies cúbicos por minuto + 10 pies cúbicos por minuto = 45 pies cúbicos por minuto
	Volumen anual de gas ahorrado	= 45 pies cúbicos por minuto * 525,600 min./año / 1000 = 23 millones 652 mil pies cúbicos/año
	Valor anual de gas ahorrado	= volumen * \$3.00/mil pies cúbicos = 23 millones 652 mil pies cúbicos/año * \$3.00/mil pies cúbicos = \$71,000/año

Paso 5: Evaluar los aspectos económicos. La reducción de costos al reemplazar los sistemas de control neumáticos de gas natural con sistemas de aire comprimido para instrumentación pueden evaluarse utilizando un análisis económico sencillo de costo-beneficio.

El Cuadro 11 muestra un análisis de costo-beneficio para un ejemplo de una planta de producción mediana. El flujo de caja por un período de cinco años se analiza utilizando la magnitud y el momento en que se incurren los costos que aparecen en los cuadros 8 y 9 (mostrados en paréntesis) y los beneficios que aparecen en el Cuadro 10. Los costos anuales de mantenimiento asociados con los compresores y el secador de aire, de los cuadros 5 y 7, también se tienen en cuenta, así como la reparación total después de cinco años de un compresor según lo indicado en el Cuadro 5. El valor presente neto (VPN) es igual a los beneficios menos los costos incurridos en un plazo de cinco años y descontados a una tasa de 10 por ciento cada año. La Tasa Interna de Retorno (TIR) refleja la tasa de descuento a la cual el NPV generado por la inversión es igual a cero.

Cuadro 11: Análisis económico de conversión a sistema de aire comprimido para instrumentación

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo de instalación (\$)	(45,750)					
Costo de operación y mantenimiento (\$)	0	(13,140) ¹ (3,200) ²	(13,140) (3,200)	(13,140) (3,200)	(13,140) (3,200)	(13,140) (3,200)
Costo de reparación (\$)	0	0	0	0	0	(4,800) ³
Costo total (\$)	(45,750)	(16,340)	(16,340)	(16,340)	(16,340)	(21,140)
Ahorros de gas (\$)	0	71,000 ⁴	71,000	71,000	71,000	71,000
Flujo anual de caja (\$)	(45,750)	54,660	54,660	54,660	54,660	49,860
Flujo de caja acumulativo (\$)	(45,750)	8,910	63,570	118,230	172,890	222,750
Período de recuperación (meses)						10
TIR						177%
VPN⁵						\$158,454
¹ La energía eléctrica se calcula a 7.5 centavos por kilowatt-hora. ² Los costos de mantenimiento incluyen \$1,200 por servicio del compresor y \$2,000 por cambio de la membrana del secador. ³ El costo de reparación general del compresor es \$3,000, aumentado a una tasa de 10% anual. ⁴ Valor del gas = \$3.00/mil pies cúbicos. ⁵ Valor presente neto (VPN) basado en una tasa de interés de 10% durante 5 años.						

Paso 6: Desarrollar un plan de implementación. Después de determinar la factibilidad y los aspectos económicos de la conversión a un sistema de aire comprimido para instrumentación, hay que desarrollar un plan sistemático de implementación de los cambios requeridos. Esto puede incluir la instalación de un medidor de gas en la línea de suministro de gas, hacer un cálculo del número de ciclos de control, asegurar un suministro ininterrumpido de energía eléctrica para hacer funcionar los compresores y reemplazar los controladores antiguos, obsoletos y con elevadas fugas. Se recomienda que todos los cambios necesarios se hagan a la vez para minimizar los costos de mano de obra y las interrupciones de la operación. Esto puede incluir una estrategia paralela para instalar dispositivos de bajo nivel de fugas conjuntamente con el interruptor para los sistemas de aire comprimido para instrumentación. Existen ahorros económicos similares en la conservación de aire comprimido para instrumentación y en la reducción de emisiones de metano con dispositivos neumáticos de bajos niveles de fuga. Cada vez que se reemplazan dispositivos neumáticos específicos, como en el caso de sistemas alternativos mecánicos y/o electrónicos, los dispositivos neumáticos existentes deben reemplazarse considerando factores económicos similares, como los que se tratan en el documento *Lessons Learned: Options for Reducing Methane Emissions from Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry* (Lecciones aprendidas: Opciones para reducir las emisiones de metano de los dispositivos neumáticos en la industria de gas natural).

Experiencias de participantes

Varios participantes de EPA Natural Gas STAR han informado que la conversión de sistemas de control neumático en base a gas natural a sistemas de aire comprimido para instrumentación ha sido la fuente más importante de reducción de emisiones de metano y una fuente importante de reducción de costos. El Cuadro 12 a continuación resalta los logros declarados por varios participantes de Natural Gas STAR.

Cuadro 12: Experiencias declaradas por los participantes					
Socio de Gas STAR	Descripción del proyecto	Costo del proyecto (\$)	Reducciones en las emisiones anuales (miles de pies cúbicos/año)	Ahorros anuales (\$/año)¹	Período de recuperación (meses)²
Unocal	Instaló un sistema de aire comprimido en su planta de Agua Fresca de Bayou en el sur de Vermillion Parish, Louisiana	60,000	69,350	208,050	< 4
Texaco ³	Instaló un sistema de aire comprimido para accionar dispositivos neumáticos en 10 plantas del sur de Louisiana	40,000	23,000	69,000	7
Chevron ³	Convirtió los controladores neumáticos a aire comprimido, incluyendo nuevas instalaciones	173,000 durante 2 años	31,700	95,100	11
Exxon/Mobil ⁴	Instaló sistemas de aire comprimido para instrumentación en 3 plantas satélites de producción y 1 batería de tanque central en la unidad de CO ₂ de Postle	55,000	19,163	57,489	12
Shell	Utilizó dispositivos operados con aire comprimido para instrumentación en más de 4,300 válvulas en plataformas de alta mar	No disponible	532,800	1,598,400	No disponible
Marathon	Instaló 15 sistemas de aire comprimido para instrumentación en instalaciones de New Mexico	No disponible	120 - 38,000 por planta	360 - 114,000	No disponible

¹ Valor del gas = \$3.00/mil pies cúbicos.
² Calculado en base a costos y ahorros de gas declarados por los participantes.
³ Los datos de este informe se obtuvieron antes de la fusión de Chevron y Texaco en 2001.
⁴ Los datos de este informe se obtuvieron antes de la fusión de Exxon y Mobil en 1999.

Otras tecnologías

La mayoría de las experiencias de los participantes en la sustitución de dispositivos neumáticos e instrumentos de control accionados por gas natural con controladores alternativos ha significado la instalación de sistemas de aire comprimido para instrumentación. Algunas alternativas adicionales a los dispositivos neumáticos accionados por gas implementadas por los participantes se describen a continuación:

- ★ **Nitrógeno líquido.** En un sistema que utiliza nitrógeno líquido, el tanque de volumen, el compresor de aire y el secador se reemplazan con un cilindro que contiene nitrógeno líquido criogénico. Un regulador de presión permite la expansión del gas de nitrógeno dentro del instrumento y la red de tubería de control a la presión deseada. Los cilindros de nitrógeno líquido se cambian periódicamente. Los dispositivos que funcionan con nitrógeno líquido requieren el uso de líquidos criogénicos, los cuales pueden ser costosos y potencialmente peligrosos. El uso de volúmenes grandes en sistemas de nitrógeno líquido requiere un vaporizador.
- ★ **Sistemas de controles e instrumentos mecánicos.** Los dispositivos de control y los instrumentos mecánicos tienen un largo historial de uso en la industria de gas natural y petróleo. Generalmente se distinguen por la ausencia de componentes neumáticos y eléctricos, son de diseño simple y no requieren fuente de energía. Dichos equipos funcionan utilizando resortes, palancas, deflectores, canales de flujo y volantes de mano. Tienen varias desventajas, tales como su limitada aplicación, la necesidad de calibración continua, falta de sensibilidad, incapacidad de resistir variaciones importantes y posibilidad de que las partes se peguen.
- ★ **Dispositivos eléctricos y electro-neumáticos.** Como resultado de los avances tecnológicos y sofisticación creciente, el uso de instrumentos y dispositivos de control electrónicos está aumentando. La ventaja de estos dispositivos es que no requieren dispositivos de compresión para suministrar energía a fin de hacer funcionar el equipo. Se utiliza una simple fuente de energía eléctrica de 120 voltios. Otra ventaja es que el uso de instrumentos y dispositivos de control electrónicos es mucho menos peligroso que utilizar cilindros de gas natural combustible o nitrógeno líquido criogénico. La desventaja de estos dispositivos es su dependencia de una fuente ininterrompida de energía eléctrica, y su costo significativamente mayor.

Si bien estas opciones tienen ventajas, los sistemas que utilizan aire en lugar de gas natural son la alternativa más ampliamente utilizada al reemplazar los dispositivos de control neumático accionados por gas natural. Es importante anotar que el mantener una fuente constante y confiable de aire comprimido seco en una planta implica un costo significativo, aunque menor que el gas natural. Por lo tanto, resulta económico implementar una estrategia paralela para instalar dispositivos de bajo nivel de fuga conjuntamente con el interruptor para sistemas de aire comprimido para instrumentación (consulte *Lessons Learned: Options for Reducing Methane Emissions from Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry* (Lecciones aprendidas: Opciones para reducir las emisiones de metano de los dispositivos neumáticos en la industria de gas natural)), y diseñar un programa de mantenimiento para mantener los instrumentos y dispositivos de control ajustados. Tales acciones pueden reducir significativamente el consumo de aire comprimido para instrumentación del sistema y, por lo tanto, minimizar el tamaño del sistema de compresión y el consumo de electricidad a lo largo de la vida útil de la planta.

Lecciones aprendidas

Las lecciones aprendidas de los participantes de Natural Gas STAR son:

- ★ La instalación de sistemas de aire comprimido para instrumentación tiene el potencial de aumentar ingresos y reducir sustancialmente las emisiones de metano.
- ★ Los sistemas de aire comprimido para instrumentación pueden aumentar el ciclo de vida del equipo del sistema, el cual puede acumular rastros de azufre y varios gases ácidos cuando se controlan mediante gas natural, añadiendo así al potencial de ahorros y aumentando la eficiencia de operación.
- ★ Las plantas e instalaciones en lugares remotos sin fuente confiable de energía eléctrica usualmente requieren la evaluación de fuentes alternativas de generación de energía. Cuando es posible, los compresores de aire accionados por energía solar proporcionan una alternativa con beneficios económicos y ecológicos a la costosa electricidad en áreas de producción alejadas. La generación en la planta utilizando microturbinas que funcionan con gas natural es otra alternativa.
- ★ Generalmente es económica una estrategia paralela de instalación de dispositivos con baja tasa de fuga en conjunto con el interruptor para sistemas de aire comprimido para instrumentación.
- ★ Se puede utilizar la infraestructura existente. Por lo tanto, no se necesita reemplazar la las tuberías. Sin embargo, deben lavarse los residuos acumulados en las tuberías y conductos existentes.
- ★ Los compresores de aire rotatorios normalmente se lubrican con aceite, el cual debe filtrarse para mantener la vida útil y rendimiento adecuado de los secadores de membrana.
- ★ La utilización de aire comprimido para instrumentación elimina los peligros de seguridad asociados con el uso de gas natural inflamable en dispositivos neumáticos.
- ★ Los sistemas accionados con nitrógeno pueden ser una alternativa al aire comprimido para instrumentación en casos especiales, pero tienden a ser costosos y el uso de gas criogénico puede crear problemas de seguridad.
- ★ Declare las reducciones de emisiones de metano como resultado de la conversión de controles neumáticos accionados con gas a aire comprimido para instrumentación en su Informe Anual de Natural Gas STAR.

Nota: La información de costo provista en este documento se basa en cálculos para Estados Unidos. Los costos de equipo, mano de obra y el valor del gas variarán dependiendo del lugar, y podrían ser mayores o menores que en los Estados Unidos. La información sobre costo presentada en este documento solamente debe usarse como guía al determinar si las tecnologías y las prácticas son convenientes económicamente para sus operaciones.

Referencias

Adams, Mark. *Pneumatic Instrument Bleed Reduction Strategy and Practical Application*, Fisher Controls International, Inc. 1995.

Beitler, C.M., Reif, D.L., Reuter, C.O. y James M. Evans. *Control Devices Monitoring for Glycol Dehydrator Condensers: Testing and Modeling Approaches*, Radian International LLC, Gas Research Institute, SPE 37879, 1997.

Cober, Bill. C&B Sales and Services, Inc. Contacto personal.

Fisher, Kevin S., Reuter, Curtis, Lyon, Mel y Jorge Gamez. *Glycol Dehydrator Emission Control Improved*, Radian Corp., Public Service Co. of Colorado Denver, Gas Research Institute.

Frederick, James. Spirit Energy 76. Contacto personal.

Games, J.P., Reuter, C.O. y C.M. Beitler, *Field Testing Results for the R-BTEX Process for Controlling Glycol Dehydrator Emissions*, Gas Research Institute, Radian Corporation, SPE 29742, 1995.

Gunning, Paul M. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Contacto personal.

Gupta, Arun, Ansari, R. Rai y A.K. Sah. *Reduction of Glycol Loss From Gas Dehydration Unit At Offshore Platform in Bombay Offshore – A Case Study*, N.A.K.R. IOGPT, ONGC, India, SPPE 36225, 1996.

Reid, Laurance, S. *Predicting the Capabilities of Glycol Dehydrators*, SPE-AIME, Laurance Reid Associates.

Scalfana, David B., *Case History Reducing Methane Emissions From High Bleed Pneumatic Controllers Offshore*, Chevron U.S.A. Production Co. SPE 37927, 1997.

Schievelbein, V.H., *Hydrocarbon Recovery from Glycol Reboiler Vapor With Glycol-Cooled Condenser*, Texaco, Inc. SPE 25949, 1993.

Schievelbein, Vernon H. *Reducing Methane Emissions from Glycol Dehydrators*, Texaco EPTD, SPE 37929, 1997.

Soules, J.R. y P.V. Tran. *Solar-Powered Air Compressor: An Economical and Ecological Power Source for Remote Locations*, Otis Engineering Corp. SPE 25550, 1993.



Agencia de Protección del Medio
Ambiente de los Estados Unidos
Aire y Radiación (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA-430-B-04-003S
Febrero de 2004